



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ
ТА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ ІМ. В.С. МАРТИНОВСЬКОГО**

XII ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ
MODERN PROBLEMS OF REFRIGERATION EQUIPMENT AND TECHNOLOGY**

27-28 вересня 2019 року

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ КОНФЕРЕНЦІЇ



ОДЕСА 2019

УДК 621.565 (075.6)

Сучасні проблеми холодильної техніки та технології / Збірник тез доповідей XII Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Одеса: ОНАХТ, 2019. – 229 с.

У збірнику наведені матеріали XII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки та технології» та розглянуто різні аспекти науково-технічних питань, пов'язаних з проектуванням, виготовленням та експлуатацією холодильного обладнання різного призначення, дослідженням робочих тіл та процесів в елементах холодильних та криогенних систем, застосуванням нано та когенераційних технологій, використанням холоду в харчових технологіях, застосуванням і впровадженням нетрадиційних джерел енергії.

В сборнике представлены материалы XII Всеукраинской научно-технической конференции «Современные проблемы холодильной техники и технологии» и рассмотрены различные аспекты научно-технических вопросов, связанных с проектированием, изготовлением и эксплуатацией холодильного оборудования различного назначения, исследованием рабочих тел и процессов в элементах холодильных и криогенных систем, применением нано и когенерационных технологий, использованием холода в пищевых технологиях, применением и внедрением нетрадиционных источников энергии.

Відповідальність за достовірність інформації несе автор публікації.
Матеріали публікуються мовою оригінала, наданого автором.

Голова наукового комітету – Єгоров Богдан Вікторович – ректор Одеської національної академії харчових технологій, член-кореспондент НААН України, Заслужений діяч науки і техніки, д-р техн. наук, професор.

Заступник голови – Косой Борис Володимирович – директор Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського, д-р техн. наук, професор.

Члени наукового комітету:

Ванєєв Сергій Михайлович - Сумський державний університет, к.т.н., доцент;

Василенко Сергій Михайлович - Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор;

Железний В.П. - зав. кафедрою теплофізики та прикладної екології ОНАХТ, д-р техн. наук, професор;

Лабай Володимир Йосипович - Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор;

Лавренченко Г.К. - д-р техн. наук, професор;

Мілованов В.І. - зав. кафедрою компресорів та пневмоагрегатів ОНАХТ, заслужений діяч науки і техніки України, д-р техн. наук, професор;

Морозюк Л.І. - д-р техн. наук, професор;

Потапов Володимир Олексійович - Харківський державний університет харчування і торгівлі, д.т.н., професор;

Радченко М.І. - зав. кафедрою кондиціонування і рефрижерації НУК, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор;

Семенюк В.А. - к.т.н., директор НПФ «Терміон»;

Симоненко Ю.М. - зав. кафедрою кріогенної техніки ОНАХТ, д-р техн. наук, професор;

Снежкін Юрій Федорович - директор Інституту технічної теплофізики, д.т.н., академік НАНУ

Ткаченко Станіслав Йосипович - д.т.н., професор Вінницького національного технічного університету;

Хмельнюк М.Г. - зав. кафедрою холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор;

Щит Михайло Львович - к.т.н., пров. наук. спів. Інституту енергетики Академії Наук Молдови.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова – проф. Хмельнюк М.Г.

Науковий секретар – к.т.н. Зімін О.В.

Члени – к.т.н. Жихарєва Н.В., к.т.н. Когут В.Є., к.т.н. Яковлева О.Ю., к.т.н. Желіба Ю.О., к.т.н. Остапенко О.В., к.т.н. Подмазко О.С.

ТЕМИ ДОКЛАДОВ ПЛЕНАРНОГО ЗАСІДАННЯ

110 РОКІВ ПРОФЕСОРУ ЧУКЛІНУ СЕРГІЮ ГРИГОРОВИЧУ (1909-1974)

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ, МЕТОДЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ КОМФОРТНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Н.И. Радченко, д.т.н., проф., Е.И. Трушляков, к.т.н., проф., А.Н. Радченко, к.т.н., доц.,
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

АЗОТНЫЕ ГАЗИФИКАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Кириченко И.В., технический директор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса;
Леонтьев А.А., главный конструктор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса.
e - mail: info@krioprom.com.ua

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОЗОНАЛЬНИХ СИСТЕМ КОМФОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Жихарева Н.В., к.т.н., доц., Одеська національна академія харчових технологій

СЕКЦІЯ № 2. ХОЛОДИЛЬНІ ТА КРІОГЕННІ МАШИНИ. ТЕПЛОВІ НАСОСИ		стр.
9.	THERMODYNAMIC ANALYSIS OF PERIODIC OPERATION AMMONIA-WATER ABSORPTION REFRIGERATION UNITS IN ATMOSPHERIC WATER GENERATION SYSTEMS	155
10.	DEVELOPMENT OF DOMESTIC ABSORPTION REFRIGERATOR FOR OPERATION IN A WIDE RANGE OF EXTERNAL AIR TEMPERATURES	158
11.	MODELING OF THERMAL MODES OF THE REFLUX CONDENSER OF THE ABSORPTION REFRIGERATION UNIT	161
12.	РАЗРАБОТКА АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ	164
13.	RESEARCH OF ELEMENTS OF TECHNOLOGY FOR REMOVAL OF NATURAL PESTICIDES FROM PLANT RAW MATERIALS	167
14.	ПЕРСПЕКТИВНА СХЕМА ЗРІДЖУВАЧА ВОДНЮ МАЛОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ЇЇ РОЗРАХУНОК	169
15.	ВИКОРИСТАННЯ ВІДКРИТОГО ЦИКЛУ СТРІЛІНГА В АВТОМОБІЛІ, ЩО ПРАЦЮЄ НА РІДКОМУ АЗОТІ	172
СЕКЦІЯ № 3. КОМПРЕСОРИ ТА ПНЕВМОАГРЕГАТИ РОБОЧІ РЕЧОВИНИ		стр.
1.	ККД СТРУМИННО-РЕАКТИВНОЇ ТУРБИНИ З УРАХУВАННЯМ СТЕПЕНІ НЕРОЗРАХУНКОВОСТІ ТЯГОВОГО СОПЛА	175
2.	МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В ТРЁХСТУПЕНЧАТОЙ СЕКЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ САЙКЛИНГ-ПРОЦЕССА	177
3.	ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕЧІЇ В ЩІЛИНАХ ТА ОТВОРАХ ЕКВІВАЛЕНТНОЮ ПЛОЩЕЮ ПРОХІДНОГО ПЕРЕРІЗУ	179
4.	РОБОТА МАЛОГО ХОЛОДИЛЬНОГО КОМПРЕСОРА НА ХОЛОДОАГЕНТІ З ДОМІШКАМИ НАНОЧАСТОК	180
5.	ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ПЕРЕД СЖАТИЕМ ЗА СЧЕТ УТИЛИЗАЦИИ БРОСОВОГО ТЕПЛА ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК	182
6.	РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ГЕРМЕТИЧНОГО КОМПРЕСОРНОГО АГРЕГАТУ В ПУСКОВИХ РЕЖИМАХ	185
7.	ВПРОВАДЖЕННЯ ІЗОБУТАНУ В ЯКОСТІ ХОЛОДОАГЕНТА В МАЛІ ХОЛОДИЛЬНІ МАШИНИ	188
8.	ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТУРБОКОМПРЕСОРІВ ДВС В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	191
9.	МОДЕРНІЗАЦІЯ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ	193
10.	АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПОРШНЕВОГО ВУГЛЕКИСЛОТНОГО КОМПРЕСОРА	195
11.	ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ БЕЗШАТУННОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ХОЛОДОАГЕНТАХ	197
12.	ПРОФІЛЮВАННЯ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ СОПЛА АКТИВНОГО ПОТОКУ РІДИННО-ПАРОВОГО ЕЖЕКТОРА	199
13.	АНАЛІЗ ХОЛОДИЛЬНИХ ЦИКЛІВ З РТО ПРОМІЖНОГО ТИСКУ	200

РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ГЕРМЕТИЧНОГО КОМПРЕСОРНОГО АГРЕГАТУ В ПУСКОВИХ РЕЖИМАХ

О.В. Литош, доцент, В.С. Дорош, ст. наук. співробітник

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв,
elitosh17@gmail.com

Одним із завдань проектування герметичних компресорних агрегатів (ГКА) є визначення основних параметрів (номінального ковзання, максимального і початкового пускового обертаючих моментів) вбудованого електродвигуна, знання яких дозволяє вже на ранніх стадіях проектування ГКА задати параметри механічної характеристики електродвигуна, який розробляється. Надійних теоретичних методів вирішення даного завдання не існує, а практичні рекомендації для відкритих (сальникових) машин не застосовні для ГКА, що відрізняються конструктивними особливостями і специфічними умовами роботи [1, 2]. Авторами розроблена математична модель, що дозволяє розрахувати пускові режими ГКА в залежності від конструкції і умов роботи, оцінити і задати параметри механічної характеристики вбудованого електродвигуна.

Математична модель і розрахунок пускових режимів ГКА базується на наступних основних положеннях і припущеннях: 1. Тиску всмоктування ($p_{вс}$) і нагнітання ($p_{н}$) постійні, тобто $p_{вс} = \text{const}$, $p_{н} = \text{const}$. 2. Термодинамічна система гомогенна, тобто тиск газу у всіх точках порожнин ГКА на стороні всмоктування ($p_{вс}$) і нагнітання ($p_{н}$) в кожен момент часу постійний. Дотримується одночасність зміни параметрів холодоагенту по всьому об'єму. 3. Чи дотримується безперервність середовища, тобто $l / L \ll 1$ (тут l - довжина вільного пробігу молекули; L - характерний розмір системи). 4. Зміна потенційної і кінетичної енергії газу зневажає мало. 5. Теплообмін між газом і стінками циліндра відсутня. 6. Процес нагнітання закінчується при куті повороту вала $\varphi = 0^\circ$ (360°), а процес всмоктування - при куті повороту вала $\varphi = 180^\circ$. 8. Зміна кількості газу в циліндрі відбувається: в процесі стиснення за рахунок протікання через зазор поршень-циліндр (далі - протікання), в процесі нагнітання за рахунок протікання і витікання газу через нагнітальний клапан, в процесі всмоктування за рахунок протікання і надходження газу через всмоктуючий клапан. 9. Передбачається, що при вирівнюванні тисків в циліндрі і у всмоктувальній (нагнітальній) порожнині всмоктуючий (нагнітальний) клапани миттєво відкриваються.

В основу моделі покладено рівняння руху машинного агрегату, яке для ГКА з достатнім ступенем точності, запишеться у вигляді [3]

$$M_p - M_o = I_{пр} \frac{d\omega}{d\varphi} \quad (1)$$

де M_p - момент, що розвивається рушійними силами (електродвигуном); M_o - момент, що витрачаються на подолання корисних і шкідливих опорів компресора; $I_{пр}$ - приведений момент інерції мас, що приводяться в рух; ω - кутова швидкість; τ - час.

Рівняння (1) може бути вирішено тільки в тому випадку, коли момент двигуна і момент опору є відомими функціями швидкості обертання, тобто $M_p = f_1(\omega)$ і $M_o = f_2(\omega)$. Оскільки момент опору поршневого ГКА - функція кута повороту $M_o(\varphi)$, а момент рушійних сил для електродвигуна - функція кутової швидкості $M_p(\omega)$, то рівняння (1) може бути вирішено, наприклад, чисельним методом.

В результаті отримана система рівнянь, що описує роботу ГКА в пускових режимах і встановлює зв'язки виду:

$$M_p = f_1(\omega, \omega_0, M_k, s_k, s_n, a, M_n, \beta_1, \beta_2, \omega_c, U_\phi); \quad (2)$$

$$M_o = f_2(\varphi, \Delta\varphi, D_n, S, a_m, I_{пр}, \lambda, \Delta, L, \mu, w_n, j_{пн}, p_n, p_{вс}, p_{тер.об}, p_{поч}, t_{поч}, \Phi_{поч}); \quad (3)$$

де ω_0 - синхронна кутова швидкість електродвигуна; M_k, s_k, s_n - критичний (максимальний) момент, що розвивається електродвигуном і відповідне йому ковзання, номінальне ковзання; M_n - пусковий момент електродвигуна; a, β_1, β_2 - безрозмірні параметри механічної характеристики електродвигуна, що залежать від активного і реактивного опорів фаз обмоток статора і ротора; ω_c, U_ϕ - кутова частота мережі живлення і амплітудне значення напруги фази; $\varphi, \Delta\varphi$ - кут повороту вала і збільшення кута (крок інтегрування); D_n, S - діаметр і хід поршня; a_m - відносний обсяг мертвого простору; λ - відношення ходу поршня до подвоєної довжини шатуна; $I_{пр}$ - приведений момент інерції; Δ -

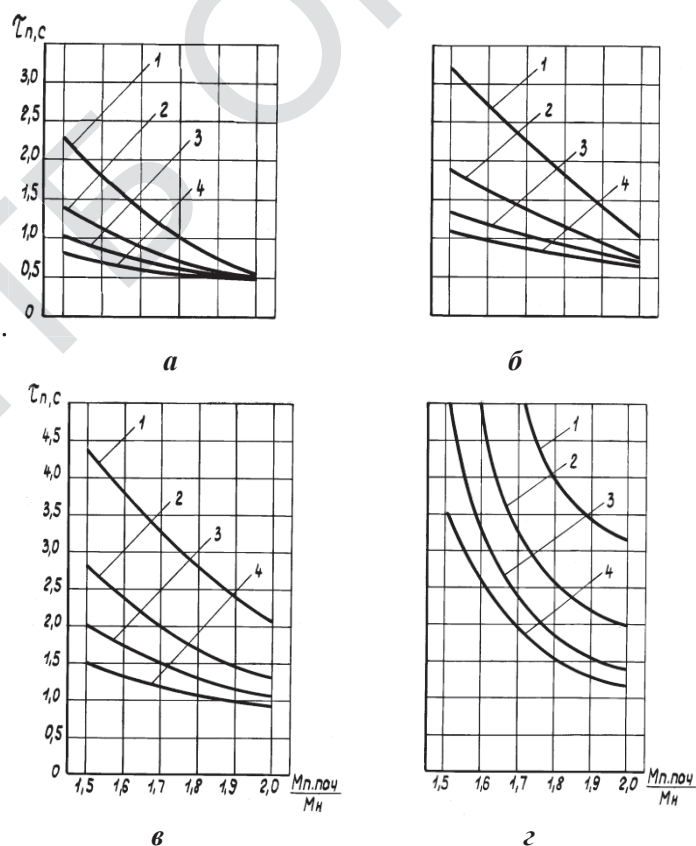
радіальний зазор між поршнем і циліндром; L - довжина поршня до маслоскидної канавки; μ - коефіцієнт динамічної в'язкості газу (пара); $w_{п}$, $j_{п}$ - швидкість і прискорення поршня; $p_{н}$, $p_{вс}$ - тиск нагнітання і всмоктування; $p_{тер.пс}$, $M_{тер.об}$ - середній тиск тертя поступально рухомих деталей (поршень, частина шатуна) і середній момент тертя обертання; $p_{поч}$, $t_{поч}$, $\varphi_{поч}$ - тиск і температура газу в циліндрі і кут повороту вала (положення поршня) на початку розрахунку..

Для перевірки адекватності моделі були зіставлені результати розрахунку перехідних режимів ГКА з досвідченими даними. Зіставлення дозволяє зробити висновок, що дана математична модель досить точно відображає фізичну сутність процесів, що відбуваються під час пуску ГКА.

Для оцінки пускових характеристик ГКА розраховують і будують графіки, що відображають залежність часу пуску $\tau_{п}$ від кратності початкового пускового моменту $M_{п.поч}/M_{н}$ вбудованого електродвигуна при різних зазорах поршень-циліндр 2Δ , номінальній та зниженій напрузі мережі живлення. Для вибору оптимального варіанту розрахунок ведеться для кількох значень максимального (критичного) моменту вбудованого електродвигуна..

На мал. 1 представлені такі залежності для компресорного агрегату КХГВ-14 (двоциліндровий, діаметр циліндра 50 мм, хід поршня 24мм, частота обертання $66,7 \text{ с}^{-1}$ при частоті струму 400 Гц) при кратності максимального моменту вбудованого електродвигуна, що дорівнює 2,5. Початки розраховували при температурах $t_0 = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{к} = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Положення поршнів перед пуском вибрано з урахуванням найбільш ймовірного діапазону кутів при зупинці ГКА [4]. Пуск вважався успішним, якщо його час не перевищував 5 с.

З графіків випливає, що при пуску ГКА на номінальній напрузі мережі, коли обертаючий момент електродвигуна значно перевершує момент опору ГКА (мал. 1, а, кратність пускового моменту 2), час пуску від величини 2Δ практично не залежить. У міру зменшення обертаючого моменту (при зниженні електричної напруги і $M_{п.поч}/M_{н}$) час пуску істотно залежить від величини 2Δ , що підтверджено експериментально. З мал. 1 видно, що при мінімальній зазорі 12 мкм і напрузі на 10% нижче номінальної (зазвичай на судах більше падіння напруги не спостерігається) КХГВ-14,0 пускається з кратністю $M_{п.поч}/M_{н} = 1,5$ (рис. 1, в). При зниженні напруги до 0,85Un необхідну кратність $M_{п.поч}/M_{н}$ слід збільшити до 1,9 ... 2.



Мал. 1. Залежність часу пуску $\tau_{п}$ компресорного агрегату КХГВ-14 від кратності початкового пускового моменту ($M_{п.поч}/M_{н}$) вбудованого електродвигуна (кратність максимального моменту дорівнює 2,5):

a - напруга живильної мережі номінальне $U = U_n$; $b - U = 0,95U_n$; $v - U = 0,9U_n$; $z - U = 0,85U_n$; 1 - діаметральний зазор $2\Delta = 12$ мкм; 2 - 16 мкм; 3 - 20 мкм; 4 - 25 мкм

Висновок. Розроблена математична модель пускових режимів одно - і двоциліндрового ГКА дозволяє розрахувати і оцінити параметри механічної характеристики електродвигунів, що проектується, від умов роботи і конструктивних особливостей ГКА. Представлені розраховані пускові характеристики для ГКА з живленням від мережі 400 Гц.

Список літератури

1. Якобсон В.Б. Малые холодильные машины / В.Б. Якобсон В.Б. – М: Пищевая промышленность, 1977. – 368 с.
2. Пластинин П.И. Теория и расчет поршневых компрессоров / П.И. Пластинин. – М.: Агропромиздат, 1987. – 271 с.
3. Дорош В.С. Определение механических и электрических потерь высокооборотных поршневых герметичных компрессоров / В.С. Дорош, В.Ю. Захаров, В.А. Редькин // Теплоэнергетика и хладотехника. Сб. научн. тр. – Николаев: НКИ, 1988. – С. 3 – 14
4. Дорош В.С. Определение параметров при переходных режимах (пуске, остановке) судовых герметичных компрессорных агрегатов / В.С. Дорош // Інновації в суднобудуванні: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції: - Миколаїв: НУК, 2010. – С. 289 – 291.